Teoria de Circuits
Problemes Tema III

Enginyeria de Sistemes TIC (iTIC)
EPSEM - UPC

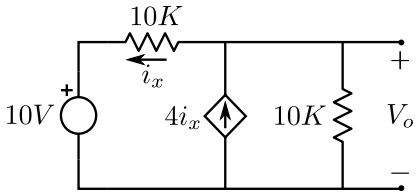
Jordi Bonet Dalmau
Rosa Giralt Mas

Març de 2025

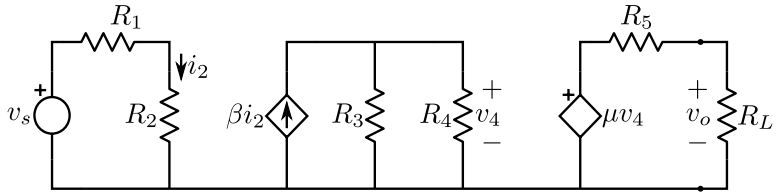
3 Anàlisi de circuits amb fonts controlades

En aquest tema presentem un nou tipus d'element de circuit: les fonts controlades. Les fonts controlades ens permetran modelar un tipus de dispositiu àmpliament usat en al disseny de circuits: l'amplificador operacional (AO). Abans d'entrar a analitzar circuits amb AO, cal que primer ens acostumem a analitzar circuits amb fonts controlades.

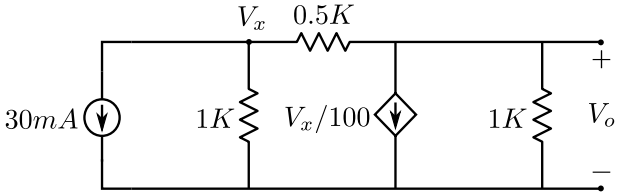
Exercici 3.1 Determineu l'equivalent Thevenin en terminals de v_o.



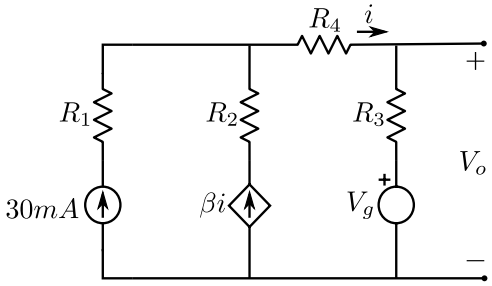
Exercici 3.2 Determineu l'equivalent Thevenin en terminals de v_o (sense considerar R_L). A continuació calculeu v_o en funció de v_s.



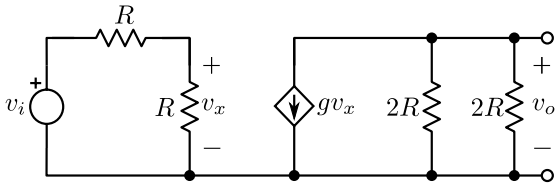
Exercici 3.3 Trobeu la tensió de sortida v_o.



EXERCICI 3.4 Trobeu la tensió de sortida v_o.

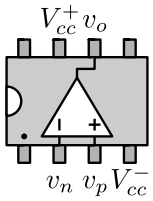


EXERCICI 3.5 Trobeu els equivalents Thevenim i Norton del següent circuit.

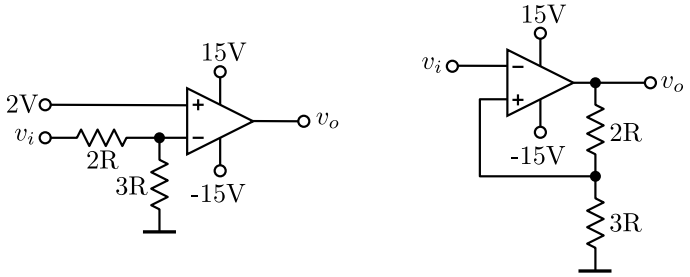


3 Anàlisi de circuits amb amplificadors operacionals en zona no lineal

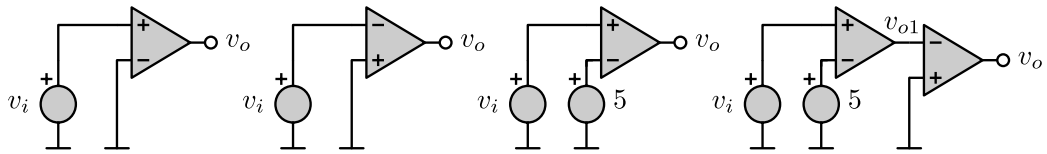
En aquest apartat, treballarem amb AO treballant en zona no linial. Treballant d'aquesta manera, la sortida v_o només pot prendre dos valors: V_{sat}^+ quan $v_p > v_n$ i V_{sat}^- quan $v_p < v_n$. Recordeu que les tensions de saturació V_{sat}^+ i V_{sat}^- són properes a les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- en el cas general i iguals a la pràctica en el cas particular en què els AO són *rail-to-rail IO*.



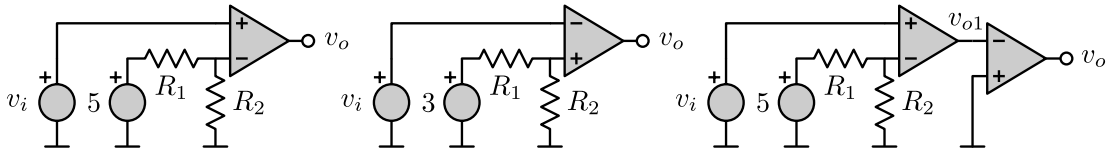
EXERCICI 3.6 Per als següents circuits, trobeu i dibuixeu la sortida v_o si l'entrada és un senyal triangular centrat a 0 i d'amplitut 10V.



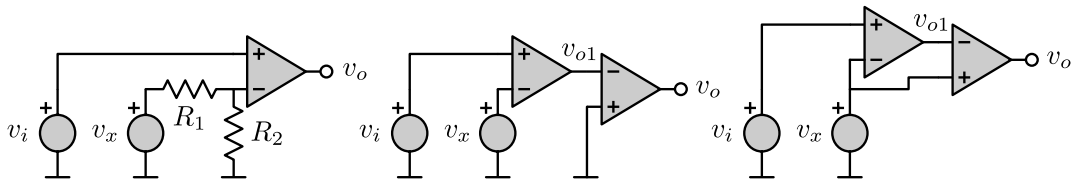
EXERCICI 3.7 Per als següents circuits determineu per a quin valors de v_i s'obté $v_o = V_{sat}^+$ i per a quins altres $v_o = V_{sat}^-$. Observeu que les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- no apareixen per tal de simplificar la simbologia.



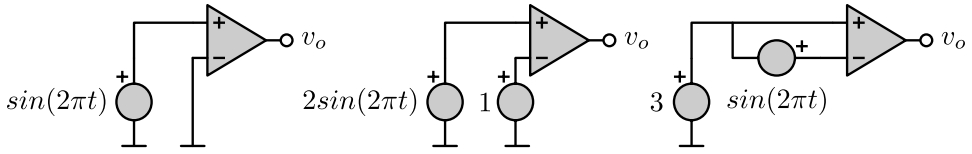
EXERCICI 3.8 Per als següents circuits determineu per a quin valors de v_i (en funció de R_1 i R_2) s'obté $v_o = V_{sat}^+$ i per a quins altres $v_o = V_{sat}^-$. Observeu que les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- no apareixen per tal de simplificar la simbologia.



EXERCICI 3.9 Per als següents circuits determineu per a quin valors de v_i (en funció dels paràmetres que s'escaigui) s'obté $v_o = V_{sat}^+$ i per a quins altres $v_o = V_{sat}^-$. Observeu que les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- no apareixen per tal de simplificar la simbologia.



EXERCICI 3.10 Per als següents circuits determineu per a quins instants de t s'obté $v_o = V_{sat}^+$ i per a quins altres $v_o = V_{sat}^-$. Observeu que les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- no apareixen per tal de simplificar la simbologia.

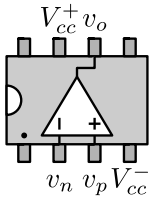


3 Anàlisi de circuits amb amplificadors operacionals en zona lineal

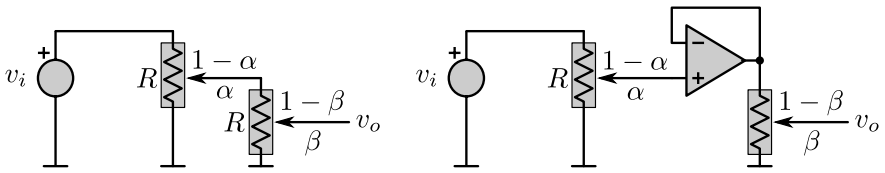
En els exercicis amb AO realitzats anteriorment hem considerat que l'AO treballa en zona no lineal. Hem pogut assegurar el funcionament en zona no lineal perquè la sortida v_o de l'AO no està connectada amb cap de les entrades v_p i v_n.

En canvi, quan l'AO té una connexió entre la sortida v_o i alguna de les entrades v_p i v_n no podem assegurar com es comporta el circuit. Coneixem algun cas particular com el comparador amb histèresi, en què una connexió entre v_o i v_p amb una resistència fa que el circuit treballi en zona no lineal o com l'amplificador inversor (o no inversor) en què una connexió entre v_o i v_n amb una resistència fa que el circuit treballi en zona lineal. En general, però, aquesta connexió, o realimentació, es pot produir simultàniament per v_p i v_n. A més, la connexió entre v_o i v_p o v_n pot realitzar-se d'una manera més complexa que amb una resistència: per exemple a través d'un amplificador inversor. Així, en general necessitarem del test de linealitat per a determinar en quina zona treballa l'AO.

En el cas de considerar que l'AO pot treballar en zona lineal, a més de considerar que el corrent a les entrades v_p i v_n és zero, es considera que la tensió a les entrades és la mateixa: $v_p = v_n$. Aquesta condició, anomenada curtcircuit virtual, s'afegeix a la resta d'equacions que caracteritzen el circuit. Malgrat que un circuit pugui treballar en zona lineal, un mal disseny o un mal ús del circuit pot fer que l'AO se saturi per tensió (v_o ha de ser inferior a V_{sat}) o per corrent (i_o ha de ser inferior a I_{sat}, i aleshores el circuit deixa de treballar en zona lineal.

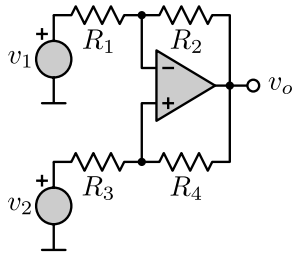


Exercici 3.11 Per poder obtenir amb precisió una fracció de la tensió v_i, es proposa utilitzar dos potenciòmetres. L'objectiu és que amb el segon potenciòmetre es pugui ajustar més finament la tensió seleccionada amb el primer (de forma similar a com ajusteu la tensió de la font d'alimentació al laboratori). Per als següents circuits determineu la relació entre v_o i v_i. S'aconsegueix l'objectiu desitjat? En cas contrari proposeu modificacions.

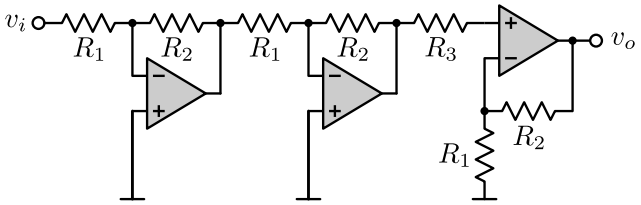


Exercici 3.12 Aplicant el test de linealitat determineu sota quines condicions aquest circuit treballa en zona lineal. Amb aquestes condicions, trobeu v_o en funció de v_1 i v_2.

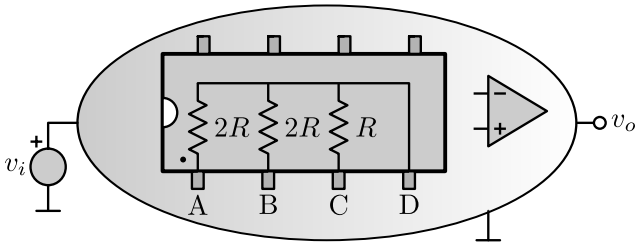
Podria ser aquest circuit un amplificador diferencial? Quines modificacions cal fer en el circuit per tal d'obtenir un substractor com l'estudiat a classe?



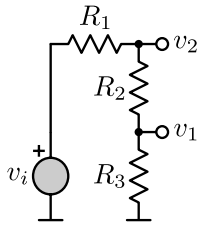
EXERCICI 3.13 En el següent circuit, doneu valor a les resistències per tal que $v_o = 12v_i$. Influeix R_3 en el resultat?



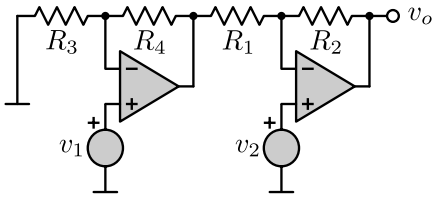
EXERCICI 3.14 Utilitzant com a màxim un AO i un encapsulat de resistències com el de l'exercici 2.4, dissenyeu diversos circuits per tal d'aconseguir $v_o = 3v_i$, $v_o = 2v_i$, $v_o = 1.5v_i$, $v_o = -2v_i$, $v_o = -v_i$ i $vo = -v_i/2$. Hi ha altres possibles amplificacions? Observeu que les alimentacions de l'AO no apareixen per tal de simplificar la simbologia, tot i que en el disseny final serien imprescindibles.



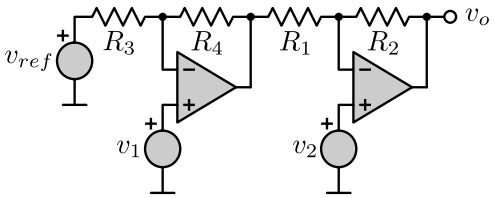
EXERCICI 3.15 Dissenyeu un circuit amb un o més AO que permeti obtenir $vo = v_2 - v_1$. Si $V_{CC}^{+} = +5V$ i $V_{CC}^{-} = -5V$ i $R_1 = R_2 = R_3$ quan valdrà la sortida per a $v_i = 10$? I si $v_i = 20V$?



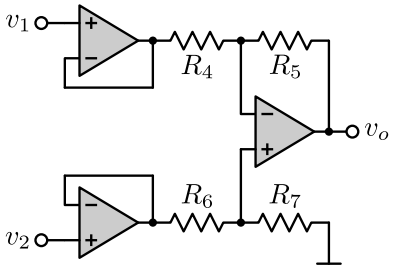
EXERCICI 3.16 Determineu la sortida v_o del següent circuit. Indiqueu quina és la relació que han de complir les resistències per tal que el circuit es comporti com un amplificador diferencial: $v_o = k(v_2 - v_1)$. Proposeu uns valors per tal que $k = 10$.



EXERCICI 3.17 Repetiu l'anàlisi per al següent circuit i proposeu uns valors de resistències per tal que $v_o = 10(v_2 - v_1) + v_{ref}$.



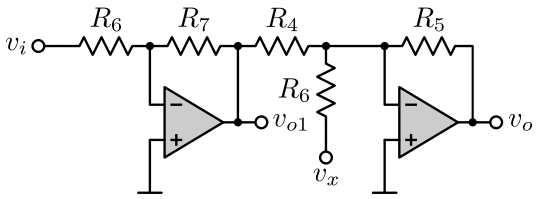
EXERCICI 3.18 Determineu la sortida v_o del següent circuit. Indiqueu quina és la relació que han de complir les resistències per tal que el circuit es comporti com un amplificador diferencial: $v_o = k(v_2 - v_1)$. Proposeu uns valors per tal que $k = 10$



EXERCICI 3.19 Centrem-nos ara en un problema de condicionament de senyal. El condicionament d'un senyal v_i generat per un dispositiu consisteix en les manipulacions necessàries per tal de transformar-lo en un senyal v_o que pugui ser entregat a un altre dispositiu. Habitualment aquestes manipulacions consisteixen en amplificar i desplaçar el senyal: $v_o = k * v_i \pm v_{DC}$.

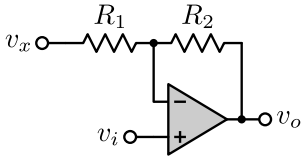
Considerem un sensor de temperatura que pot ser modelat com una font de tensió amb un valor v_i que varia entre 0.5V a 0° i 1.75V a 125°. Aquesta tensió la volem entregar a un conversor A/D amb un rang de 0 a 5V. Quins són els valors dels paràmetres k i v_{DC} de l'expressió $v_o = k * v_i - v_{DC}$ que necessitem en aquesta aplicació?

Analitzeu el següent circuit. Compareu el resultat amb la transformació $v_o = k * v_i - v_{DC}$. Identifiqueu k (una combinació de resistències) i v_{DC} (producte de v_x i una combinació de resistències).



Finalment considereu $v_x = 5V$ i doneu valors a les resistències per tal que k i v_{DC} tinguin el valor que permet fer el condicionament. Observeu que teniu varis graus de llibertat. Per als valors proposats, quin és el valor de les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- necessari per a no saturar les sortides dels dos AO? Considereu dos AO *rail-to-rail IO*.

EXERCICI 3.20 El circuit anterior pot repartir el guany en dues etapes quan k té un valor elevat. Si no és el cas, es pot usar un circuit més simple amb un sol AO. Determineu els valors d'R_2, R_1 i v_x per tal de realitzar el condicionament anterior. Per als valors proposats, quin és el valor de les alimentacions V_{cc}^+ i V_{cc}^- necessari per a no saturar la sortida de l'AO? Considereu un AO *rail-to-rail IO*.



EXERCICI 3.21 Proposeu modificacions del circuit anterior per tal que amb una sola font de 5V es pugui realitzar tot el muntatge. Considereu un AO *rail-to-rail IO*. Podeu atacar el problema dissenyant un divisor de tensió amb un equivalent Thevenin igual a la font v_x en sèrie amb R_1.

EXERCICI 3.22 Pel següent circuit, trobeu la sortida v_o en funció de les entrades v_1, v_2 i v_3.

